

Conference Paper, Published Version

Bjarsch, Benno

Vergleich von Bestimmungsverfahren der Wasserspiegellagen von Hochwässern mit Berücksichtigung des Klimawandels

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik**

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103418>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bjarsch, Benno (2015): Vergleich von Bestimmungsverfahren der Wasserspiegellagen von Hochwässern mit Berücksichtigung des Klimawandels. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 601-612.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Vergleich von Bestimmungsverfahren der Wasserspiegellagen von Hochwässern mit Berücksichtigung des Klimawandels

Benno Bjarsch

1 Größenbestimmung und Berechnungsformeln der Wasserspiegellagen

Von den Hochwasserereignissen (HWE) hat die zutreffende Größenbestimmung aus den Hochwasserabflüssen (HQ) zur Bestimmung der Wasserspiegellagen (WspL) in der Praxis wesentliche Bedeutung. Berechnungen und Darstellungen zu den HWE erfolgen oft unterschiedlich, in der Hydrometrie als Wasserstand-Durchfluss -Beziehungen (WQB) und in der Hydraulik über Fließformeln.

Bei der weiteren Umsetzung der Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EG-HWRM-RL) ist die zutreffende Bestimmung der WspL, bezogen auf die Jährlichkeit und Häufigkeit der HW-Ereignisse als HQT und HWT seit dem Klimawandel mit Vergleichen zu aufgetretenen HW-Ereignissen, besonders zum Ausweisen der Überschwemmungsgebiete, ein grundlegendes Erfordernis.

Die Tabellenkalkulation kann zu den bestehenden HW-Bestimmungsverfahren ergänzend und alternative einen wirkungsvollen Beitrag leisten.

Als Arbeitsmappe ABG wurden die Berechnungsvorlagen BV_Hy in MS-Excel weiter entwickelt und angewendet. In MS-Excel werden entsprechend dem Stand der Rechentechnik mit den unterlegten Formeln einfache leicht durchführbare und übersichtliche Berechnungen ermöglicht. Hydrometrisch werden Daten als der Wasserstand (W) und WspL-Messungen mit geringeren Unsicherheiten eingesetzt. Bei diesen Größen erfolgen Messungen der Zeit und der Längen mit hoher Präzision. Bereits die Zuordnung zu Durchfluss (Q) und dem HWQ sowie zur mittleren Fließgeschwindigkeit v_m ist aber problematisch, weil die Größen auf verschiedenen hydromechanischen Eigenschaften basieren und entsprechende Bedingungen, wie die Druckausbreitung $u = (g \cdot h)^{0,5}$, und Überlagerungen von Einflussgrößen in die Formeln oft nur unzureichend einbezogen sind.

Bei der Regressionsanalyse, wie sie für die WQB verwendet wird, gelten die logarithmischen Trendgeraden als Potenzformeln, die in hydrologischen und hydraulischen Berechnungen zu zutreffenden Ergebnissen und Vergleichen

führen. In den Messquerschnitten der WQB sind Stau- und Senkungseinflüsse enthalten.

Für den Fließwiderstand in den Fließstrecken gilt nach dem quadratischen Widerstandsgesetz mit dem Widerstandswert $W_f(h)$ höhenbezogenen

$$W_f(hD_h) = Q^2 / D_h \quad (1)$$

oder relativiert mit der Streckenlänge DL als Gefälle I

$$W_f(hI) = Q^2 / I. \quad (2)$$

Bezogen auf Q ist:

$$Q = W_f(hI)^{0,5} \cdot I^{0,5} \quad (3)$$

In der Regressionsanalyse gelten als logarithmische Trendgeraden Potenzformeln, wie sie auch für die WQB in der Form $Q = C \cdot (W + a)^x$ häufig verwendet werden.

Wird h auf Pegelnul (PN) bezogen, ist als Berechnungsgröße $h = W/100$ sonst wird zur Höhe der Bezugssohle zusätzlich die Länge a verwendet. Die Strömung in den Streckenabschnitten ist mit veränderlichem I dabei meistens ungleichförmig.

Für jeden Streckenabschnitt mit etwa gleichem I als D_h/DL und Q ist $W_f(hI)$ hydrometrisch bestimmbar und gilt höhenbezogen für das Fließprofil bei stationärer Strömung. Gleiches I kennzeichnet gleichbleibende Profilwiderstände.

Damit gilt für

$$W_f(hI)^{0,5} = BW_{fl} \cdot h^{x_{W_{fl}}} \quad (4)$$

Profiländerungen und Gefällewechsel führen zu Stau- und Senkungshöhen h_s der stationär ungleichförmigen Strömung. Die Länge L der Stau- und Senkungskurven ist etwa der Quotient

$$L = (h_{\text{gleichförmig}} + - h_s) / I. \quad (5)$$

Dabei ist $h_{\text{gleichförmig}} + - h_s = h$ oder $W/100$. Als Stau- und Senkungskurve wird L mit abnehmenden h_s länger und geht bei 0 gegen Unendlich. Deshalb liegen das Ende der Staukurven bei 1,01 h und das von Senkungskurven bei 0,99 h .

In wesentlich kürzeren Streckenabschnitten ist I als Mittelwert des Gefälles von Stau- und Senkungskurven etwa eine Gerade, da die Bogenhöhen gering bleiben. Bei der Flussentwicklung ändern sich die Profilgrößen in den Streckenabschnitten mit Schwankungen von I bei etwa geradlinigem Verlauf.

Die W_{spL} und h in den Knotenpunkt sind, wie das W der WQB, maßgeblich durch den Profilwiderstand im unteren Fließabschnitt bestimmt, wobei ungleich-

förmige Strömungsverhältnisse als Stau- oder Senkungseinfluss aber in der Strecke oberhalb, abhängig von Q, zu Änderungen des I führen.

Zweckmäßig wird mit I in ‰ als Dh in m und DL in km bei gleichen Ergebnissen gerechnet. Für Q gilt $A \cdot v_m$.

Hydraulisch ist mit der als allgemein eingeführten Fließformel für v_m

$$W_f(hI)^{0,5} = A \cdot (2g \cdot d \cdot I / \chi d)^{0,5} / I^{0,5} = A \cdot (d \cdot 2g / \chi d)^{0,5}. \quad (6)$$

Zur Größenbestimmung in den Fließformeln erfolgten bisher umfassende Modifizierungen, wobei für die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m meistens die GMS-Formel verwendet wird. Statt d als maßgebender Länge für die Größe und Form des Querschnittes A wird der hydraulische Radius als $4 \cdot R$ eingesetzt. R ist A/U mit U als benetztem Umfang. Als Rauheitsfaktor gilt $(2g/\chi d)^{0,5} = k_{st} \cdot R^{1/6}$.

Damit ist

$$W_f(hI)^{0,5} = Q / I^{0,5} = A \cdot k_{st} \cdot R^{2/3} \quad (7)$$

hydraulisch einfach zu berechnen und als Potenzformel auch für Referenz- oder Regelprofile der Strecken bezogen auf h einsetzbar. Da k_{st} und R mit größeren Unsicherheiten behaftet sind, ist die Zusammenfassung der 3 Faktoren in Gleichung 7 vorteilhaft.

Im Fluss- und Ausuferungsbereich ergeben sich unterschiedliche Steigungen der logarithmischen Trendgeraden. Deshalb sind 2 geteilte Trendgeraden zweckmäßig. Aus $Q / W_f(hI)^{0,5} = I^{0,5}$ ist aber bei ungleichförmiger Strömung mit etwa gleich bleibender Größe auch das Gefälle und damit die WsPL bestimmbar. Dafür gilt:

$$I = (((Q/h) / B_{wfl})^{1/x_{wfl}})^2 \quad (8)$$

Aus aufgenommenen Querprofilen und mit den Abständen der Profile erfolgten quasi-stationäre Gefälle- und Wasserspiegelberechnungen hydraulisch auch als Staffelrechnung. Bei Planungsarbeiten mit Regelprofilen wurde die Berechnung der WsPL aber als Bestimmung der stationär gleichförmigen Wasserstände hgleichförmig der Regelprofile und der Stau- und Senkungskurven durchgeführt.

Durch Modellrechnungen der WpIL sind diese Verfahren inzwischen abgelöst.

Modellmäßig ist die Diskretisierung mit Knotenpunkten und etwa gleichem I der Streckenabschnitte erforderlich. In den Knotenpunkten werden auch die Q-Änderungen aus seitlichem Zufluss und der Retention berücksichtigt.

Die WsPL-Berechnungen sind mit $Q/I^{0,5}$ und $W_f(hI)^{0,5}$ auch hydraulisch mit geringerem Aufwand als mit programmierten hydraulischen Modellen jedoch einfacher und übersichtlicher durchzuführen. Dazu kann $W_f(hI)^{0,5}$ über

$A \cdot k_{st} \cdot R^{2/3}$ auch für ausgewählte h zunächst bestimmt und damit die Potenzformel gebildet werden. Mit hydrometrischen Messdaten werden die WspL-Berechnungen als Tabellenrechnung nachfolgend am Beispiel Donau erläutert.

2 Wasserspiegellagenberechnung im Donauabschnitt Isarmündung bis Hofkirchen

Aus einer anderen Bearbeitung und Veröffentlichungen liegen von der Donau ab Isarmündung bis Hofkirchen hydrometrische Messdaten und mehrere Wasserspiegelfixierungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vor. Diese sind als HW in m NN in die Arbeitsmappe ABG übertragen. Nachfolgend ist die Grafik von der Tabelle Übersichtslängsschnitt aus der Arbeitsmappe ABG dargestellt.

Das Gefälle $I = Dh/DL$ und Fehler aus Eingaben und Berechnungen sind damit gut erkennbar. Als Knotenpunkte wurde h mit $W/100$ für die Pegel Hofkirchen, Loh und Niederalteich sowie mit $W/100 - 0,70$ m für Mühlham und $W/100 + 0,20$ m für Halbmeile bei relativ langen Streckenabschnitten eingesetzt.

Aus den in den WspL-Fixierungen angegebenen W in m NN ist mit $+$ in der Grafik für $HQ = 2890 \text{ m}^3/\text{s}$ das HQ Hofkirchen vom 17.03. 2009 bei HW 666 cm und das darunter liegende $HQ = 1690 \text{ m}^3/\text{s}$ bei HW 492 vom 14.2004 mit o dargestellt. Am 17.03. 2009 ist bei $W = 411 \text{ cm}$, als x in der Darstellung das $Q = 1142 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zu den WspL ist die Berechnungssohle damit annähernd parallel.

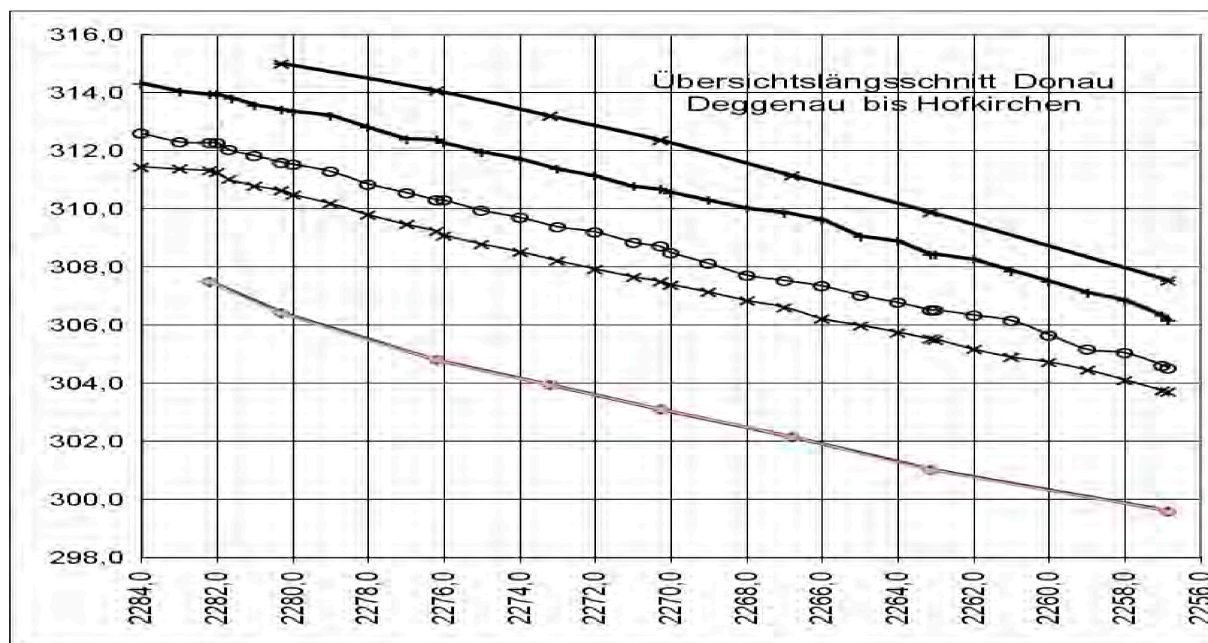


Bild 1 Übersichtslängsschnitt von WspL-Spiegelfixierungen

Mit h als Länge zwischen W und PN oder der Berechnungssohle und $Q/10,5$ werden Wertepaare gebildet, die als Regressionsbeziehungen in Bild 2 mit $y = B_{wf}$ und h statt x mit $h \times W_f$ die Potenzformeln der $W_f(h)^{0,5}$ sind:

$$W_f(h)^{0,5} = B_{wf} * h^{x_{Wf}} \quad (9)$$

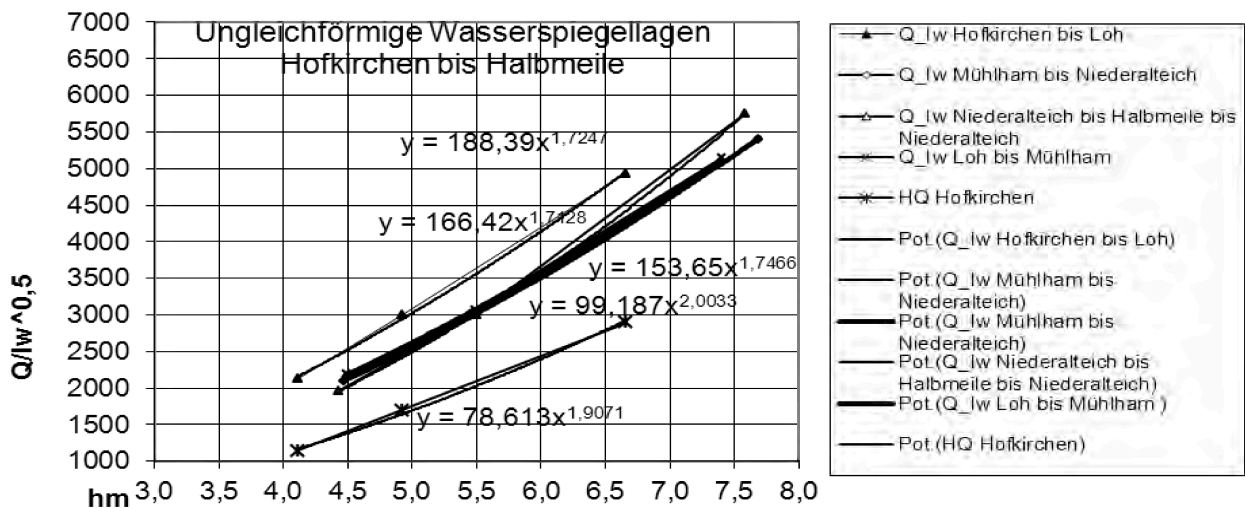


Bild 2 $W_f(h)^{0,5}$ aus HW-Spiegelfixierungen

Die mit x dargestellte WspL für HW100 Hofkirchen in Bild 1 oben wurde zu $HQ_{100} = 4100 \text{ m}^3/\text{s}$ aus den Angaben des Bayerischen Landesamtes für Umwelt von 1999 bestimmt. Mit Gleichung 8 ist in den Streckenabschnitten I und damit D_h für die Höhe der oberen Knotenpunkte berechnet.

Das HQT Hofkirchen von 2013 mit $3420 \text{ m}^3/\text{s}$ wird in anderen Veröffentlichungen als die provisorische Widerkehr mit 200 Jahren angegeben und ergibt deutlich niedrigere WspL. Zutreffende Größenbestimmung sind daher erforderlich.

3 Verfahren zur Bestimmung von HW- Ereignissen als HQT und HWT beim eingesetzten Klimawandel mit Tabellenrechnung des Elbe-Pegels Dresden und des Donau-Pegels Hofkirchen

Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurden zur Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen und der Bewertung von Hochwasser-Ereignissen (HWE) als maßgebender Größenwerte das HQT als Scheitelwert mit den Jährlichkeiten T als Zeitspanne des Auftretens eingeführt. Damit ist die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zum HW-Schutz besser zu bewerten. Für die HQT -Bestimmung liegen von den HWE die HQ-Werte direkt aus Q -Messungen oder aus den WQB meistens zum Zeitpunkt des Auftretens oder als Tagesmittelwert vor. Die HQ-

Scheitelwerte werden auch mit Niederschlag-Abfluss (NA)-Modellen sowie über Daten der Regionalisierung berechnet. Das HWT ist gleichartig zu bestimmen und sollte mit zutreffender WQB auch das T des HQ bei den HWE sein.

Das Bild 3 zeigt als x die stochastisch aufgetretenen jährlichen HQ Dresden. Diese sind als HWE schwierig zu quantifizieren.

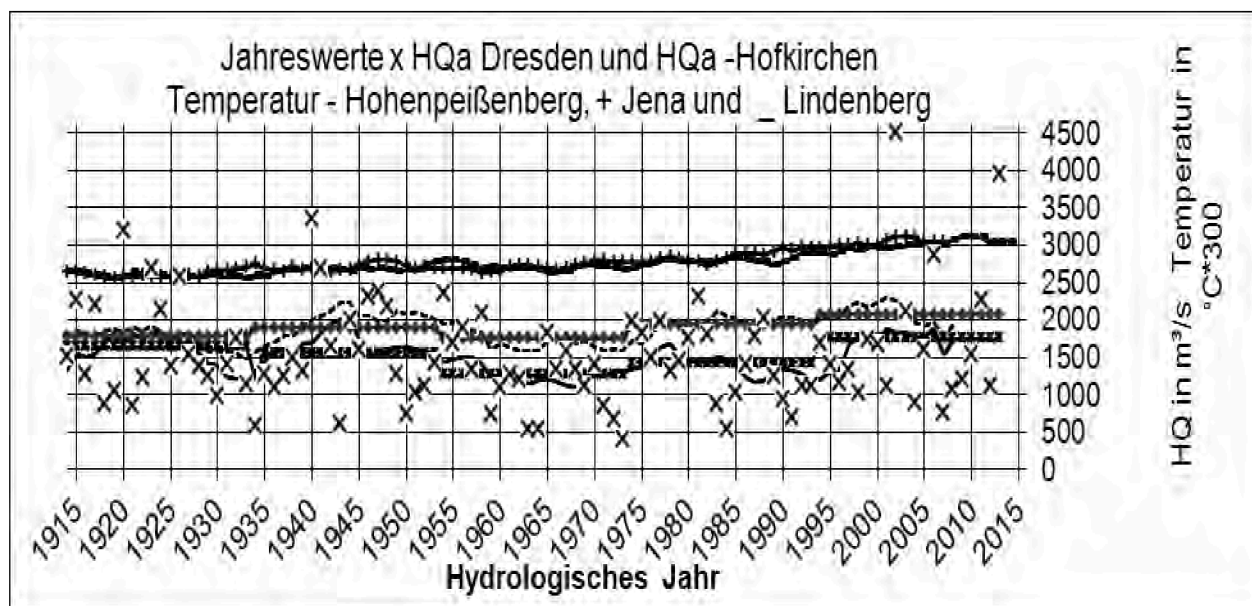


Bild 3 Hwa-und HQa mit gleitenden Mittelwerten auch von Jahres-Temperaturen

Die zusammengesetzten Größenwerte des HW oder HQ mit der Jährlichkeit T als Zeitspane für die Häufigkeit des Auftretens sind das HWT und HQT.

Bei der Einführung der HQT sowie der HWT-Bestimmung erfolgten diese bei den damals wenigen als homogen vorausgesetzten hydrologischen Daten auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage. Zur Größenbestimmung wurden analytische Verteilungsfunktionen aufgestellt. Wie es aus Bild 4 hervorgeht ergeben sich aber langfristig erhebliche Änderungen der Größen von HQT.

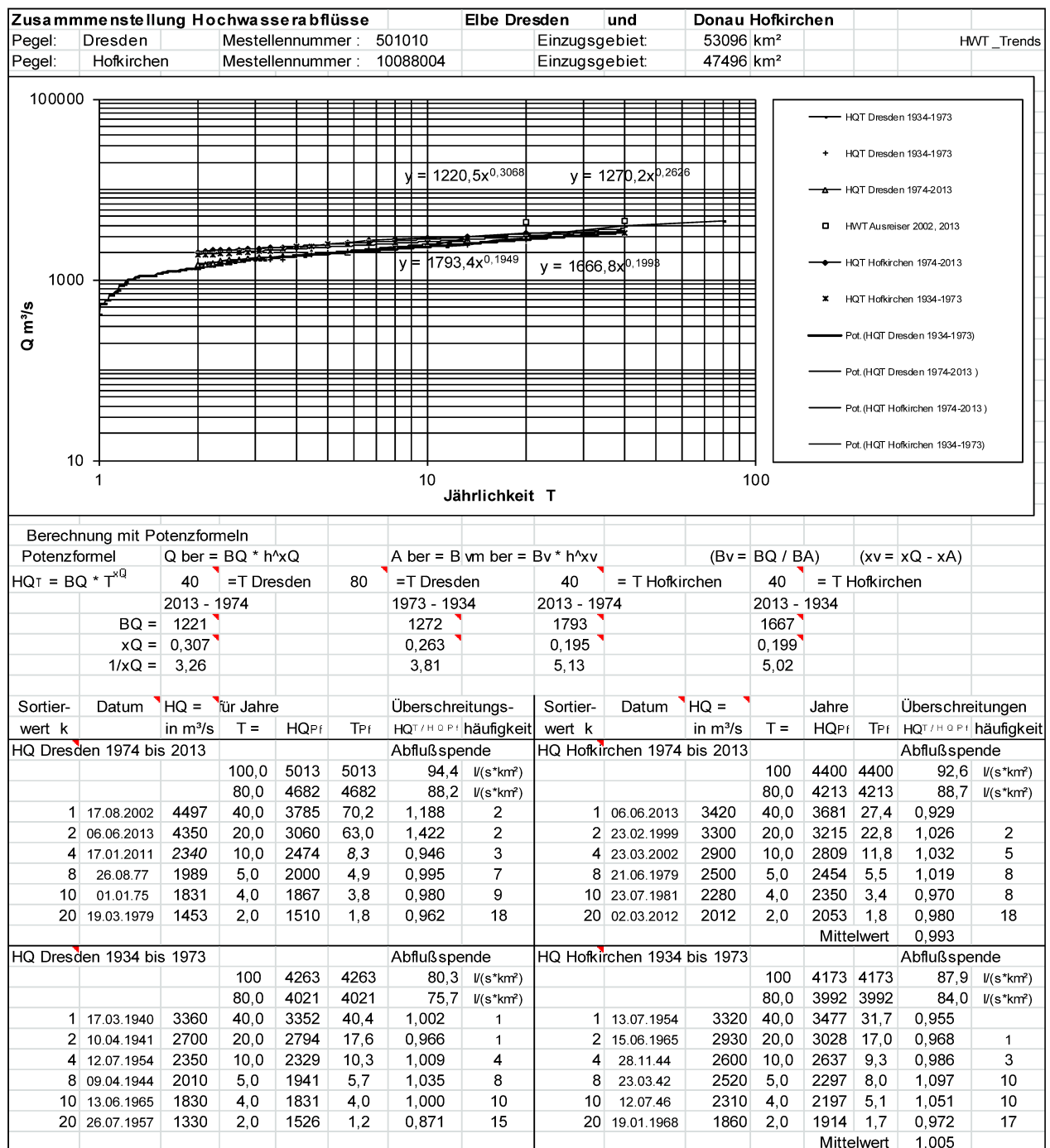


Bild 4 HQT Dresden und Hofkirchen für 1934 bis 1973 und 1974 bis 2013

Die Datenreihe 1934 bis 2013 ist durch Schwankungen des Klimas und deren Veränderungen aus Treibhausgasen mit größerem CO₂-Eintrag, durch wasserbauliche Veränderungen, Bewuchs und Aufhöhung der Vorländer, der Eisbildung, oder den Rückhalt in Talsperren, Speichern und Flutpoldern als Scheiteltappung, durch Abflüsse in Flutrinnen und durch Deichbrüche mit den dabei entstehenden Umläufen inhomogenen. Damit ergeben sich größere Unsicherheiten bei der Größenbestimmung der HWE als HWT und HQT.

Die Umsetzung der EG-HWRM-RL zur Vorsorge vor HW-Schäden erfordert zutreffende Quantifizierungen des HWET zur Bestimmung der Wasserspiegellagen auch in den Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten, besonders beim vorgegebenen HQ100. Zur Bestimmung der Verteilungsfunktionen sind dafür zeitbezogen homogene Datenreihen erforderlich.

Zutreffende Quantifizierungen der HWE als T erfolgen, wie es Bild 1 zeigt, am geeignetsten über die Mittelwerte mit den Trends der gleitenden und langzeitlichen Mittelwerte von Temperatur, HWa- und HQa in den 20jährigen und den 40jährigen Zeitperioden von 1934 bis 1973 und von 1974 bis 2013.

Längere Zeitreihen sind durch Retention und den Klimawandel inhomogen.

In der Zuordnung von T zu den sortierten HWE sind wahrscheinlichkeitstheoretische Berechnungen und statistischen Häufigkeitsanalysen anwendbar.

Sie beruhen auf verschiedenen Prämissen und führen zu unterschiedlichen Größenangaben der HWT- oder HQT-Werte. Bei solchen Zuordnungen der HQ oder HW zu T sind aber die Klima- und Retentionswirkungen sowie die wasserbaulichen Veränderungen mit deren Trendverhalten bereits einbezogen.

Für die zusammengesetzten Größenwerte des HWT und HQT ist

$$T = n / k. \quad (8)$$

mit der Länge n der verwendeten Jahresreihen und dem Sortierwert k als Anzahl der HWE, die in dieser Zeitperiode HQ oder HW erreicht und überschritten haben.

Die zunehmende Anzahl k der HWE, mindert dabei den stochastischen Einfluss. Für die stochastisch auftretenden HW-Ereignisse wurde wie bei Glücksspielen postuliert, dass aus der größeren Anzahl der HWE die mathematisch gebildeten Verteilungsfunktionen zeitinvariant gelten. Deshalb wurden zuerst auch die Monats-HW verwendet. Dem Prognosezeitraum mit den Analysewerten der HWE wird dabei das gleiche stochastische Auftreten der HW oder HQ zugeordnet und n entsprechend verlängert. In mehreren Forschungsberichten, Programmen und Regelwerken wurde für die theoretisch aufgestellte Verteilungsfunktionen die Anwendung der empirischen Eintragungsstellen P zwischen $P = k / (n+1)$ und

$P = (k-0,5)/n$ mathematisch begründet.

Mit Rechenprogrammen werden damit unterschiedliche HQT bestimmt und den Analysewerten der HWE angepasst. Dabei ist der subjektive Einfluss groß.

Bei statistischen Häufigkeitsanalysen sind die zusammengesetzten Größenwerte HWT und HQT absteigend sortierte Wertepaare von T und HW oder HQ. Der Sortierwert ist k als Anzahl der HWE in der verwendeten homogenen Zeitperiode.

Für den Elbe-Pegel Dresden und den Donau-Pegel Hofkirchen erfolgte mit der an die Entwicklung der Rechentechnik angepassten Excel-Arbeitsmappe ABG die Bestimmung von HWT und HQT als Tabellenrechnung.

Aus den in der Tabelle mit Datum und Scheitelwert zeitlich aufgelisteten Daten wurden von den Zeitperioden 1934 bis 1973 und 1974 bis 2013 das HQ mit Datum in die Spalten der 2. Seite kopiert und danach absteigend sortiert.

Der Verlauf der Wertepaare des Pegels Dresden der Zeitperiode von 1934 bis 2013 in Bild 4 zeigt, wie schwierig Verteilungsfunktionen für solche inhomogenen Zeitperioden aufzustellen sind.

Im logarithmischen Diagramm sind, für homogenen Zeitperioden von 40 Jahren mit den größeren Wertepaaren, die Trendgeraden als Potenzformeln für y mit BQT und statt x mit TxQT gebildet als

$$\text{HQT} = \text{BQT} \cdot \text{TxQT}. \quad (9)$$

Bei Umformung ist:

$$\text{TQPF} = (\text{HQ} / \text{BQT})^{1/\text{xQT}} \quad (10)$$

Ab $T = 2$ nehmen die Abweichungen durch Ausbleiben der HWE über mehrere Jahre zu. Es treten in einem Jahr aber häufiger mehrere HWE auf.

Für HQT Dresden ergeben sich in der Zeitperiode 1974 bis 2013 für 2013 und 2006 große Werte. Deshalb sind sie als Ausreiser dargestellt und in die Trendgerade nicht einbezogen. Nach der manuellen Übertragung der Formelwerte erfolgte mit Gleichung 9 und 10 die in Bild 4 gezeigte Berechnung von HQT und TQPF. Mit ganzzahligen T sind HQT zu HQT und T zu TQPF vergleichbar. Abweichungen als Differenz von k zur Häufigkeit zeigen das stochastisch bedingte Auftreten und beim HW Hofkirchen den Retentionseinfluss vom Deichbruch Fischerdorf.

Für den Elbe-Pegel Dresden erfolgten auch mit HWT die Berechnungen. Bei den HWE waren die Abweichungen der T gering und bestätigen die verwendete WQB im HW-Bereich. Das kursiv dargestellte HQ Dresden von 2011 wurde über TQPF mit Gleichung 9 berechnet.

Das HQT hat inzwischen doppelte Bedeutung erlangt. Einerseits werden aus Analysedaten der HQ durch Zuordnung von T als zusammengesetzte Größenwerte die Zeitspannen für das Auftreten bestimmt. Andererseits wird die Häu-

figkeit des Auftretens größerer HWE mit T bezeichnet. beispielsweise als Jahrhundert-Flut oder Jahrtausend-Flut.

Die HW-Vorsorge und der HW-Schutz werden aber wesentlich gemindert, wenn dem HWE vom Juni 2013 ein $T = 100$ und mehr zugeordnet wird.

4 Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Anwendungsmöglichkeiten sowie deren wirtschaftliche Bedeutung

Klimatisch und stochastisch bedingt treten größere HWE in kürzeren Zeitperioden auf oder bleiben über mehrere Jahre aus. Weitere HW-Ereignisse innerhalb der Jahre schließt die Verwendung des Verfahrens mit den höchsten Jahreswerten bei der Größenbestimmung aber aus. Dadurch ergeben zwischen T und der Häufigkeit des Auftretens Differenzen.

Andere Grundlagen ergebenen mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Verfahren und statistische Häufigkeitsanalysen unterschiedliche Werte für HWT und HQT.

Möglichst lückenlose Beobachtungsreihen der höchsten Jahreswerte HQ werden bei den wahrscheinlichkeitstheoretischen Berechnungen gefordert, die mit empirischen Eintragungsstellen der Analysedaten über Dichtefunktionen mehreren Verteilungsfunktionen angepasst werden. Die kleineren Jahres-HW haben aber für die Größenbestimmung keine Bedeutung. Mit den empirischen Eintragungsstellen der als Prognose verlängerten Jahresreihen ergeben meistens zu große T, etwa das 1,5 bis 2fache des größten aufgetretenen HWE mit nachteiligen Auswirkungen für die HW-Vorsorge. Beim HW-Schutz sind nur die großen HWE bedeutsam.

Bedingt durch Klimawandel sind, wie aus Bild 1 hervorgeht, die langen Zeitreihen inhomogen. Bei annähernd gleichen Verlauf an den Messstellen Hohenpeißenberg im Vorraum der Alpen, Jena im Saale- Elbe- Gebiet und Lindenberg im Warschau-Berliner Urstromtal ist aus den gleitenden Mittelwerten der Jahrestemperaturen der Klimawandel ersichtlich. Infolge des Klimawandels betragen homogene Zeitperioden etwa 40 Jahre. Für größere HQT sind Extrapolationen erforderlich. Die 20Jahres-Mittelwerte des Elbe-Pegels Dresden und des Donau-Pegels Hofkirchen zeigen in den 40jährigen Zeitperioden von 1934 bis 1973 und von 1974 bis 2013 veränderte Trends. In den Regressionsgeraden sind diese Trends in den Potenzformeln einbezogen. Das HQ80 und HQ100 wurde mit HQPf extrapoliert. Damit sind in Bild 4 die Zahlenwerte HQ80 und HQ100 in die leeren Felder der Tabelle kopiert und mit den Größen der Einzugsgebiete das q in $l/(s \cdot km)^2$ bestimmt. Zu früheren Bemessungsgrößen sind damit einfachere Vergleiche möglich.

Die Einflüsse des Klimawandels, der Retentionswirkungen und die Änderungen der Flussprofile werden bei den Größenangaben von HWT- oder HQT überlagert. Durchgängig homogene Reihen erfordern, wenn diese Einflüsse im Trendverhalten nicht bleiben, die Bereinigung um diese Einflüsse. Auch gebietlich sind die in Bild 3 mit den Trendgeraden ausgewiesenen HQT unterschiedlich.

Mit den als Tabellenkalkulation durchzuführenden statistischen Häufigkeitsanalysen sind einfache leicht durchführbare und übersichtliche Berechnungen auch mit wenigen aber zuverlässig bestimmten Daten aus der Regression für HQT und HWT möglich. Zutreffendere Ergebnisse sind bei dem stochastisch auftretenden HWE durch die Häufigkeit der Überschreitungen in den Zeitperioden nachweisbar.

Mit Gleichung 9 erfolgte ausgehend vom HW Hofkirchen die Berechnung der WspL mit $I = D_h/D_L$ der 4 bis 7 km langen Streckenabschnitte, wobei D_h die Wasserspiegeldifferenz der Knotenpunkte ist. Die Wasserspiegellagen sind in Bild 3 dargestellt. Das $W_f(hmI)_{0,5}$ ist auf die unteren Knotenpunkte bezogen und gilt als stationär ungleichförmige WspL der Strecke. Die Profiländerungen und Gefällewechsel führen, wie die Auswertungen der HW-Spiegelfixierungen zeigen, zu unterschiedlichen Stau- und Senkungshöhen in den Streckenabschnitten.

Die Entwicklungen in der Messtechnik ermöglichen Einmessungen der WspL über Satellit, die im Übersichtslängsschnitt darstellbar sind. Der Vermessungsaufwand kann damit erheblich reduziert werden.

Hydraulische WspL-Berechnungen sind in der Arbeitsmappe ABG als Tabellenkalkulation einfach und übersichtlich durchzuführen. Auch mit vorliegenden Markierungen und Daten können die Berechnungswerte ermittelt und damit WspL von früheren HWE nachgerechnet werden. Einfache Modellkalibrierungen für Variantenrechnungen bei Planungsarbeiten sind damit auch möglich.

Maßgebend für HWT und HQT ist die Übereinstimmung von T der Verteilungsfunktion mit der Häufigkeit k beim stochastischen Auftreten in den Zeitperioden.

Unsicherheiten und Fehler bei der Größenzuordnung können aus Vergleichen der Sortierwerte und der Häufigkeiten des Auftretens in den gewählten Zeitperioden mit den in den Verteilungsfunktionen bestimmten HWT und HQT ermittelt werden. Längere Zeitperioden ergeben keine homogene Datenreihen, verändern aber die Größen der HWT und HQT. Deshalb erfolgt die Größenbestimmung zweckmäßig mit Berücksichtigung des Klimawandels aus gleichen Datenreihen der Zeitperiode von 1974 bis 2013 als direkte Zuordnung der HW zu T mit den absteigend sortierten HWE.

Zur Prüfung der Bemessungsgrößen für Maßnahmen des HW-Schutzes ist die Tabellenkalkulation mit geringem Aufwand einsetzbar.

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Benno Bjarsch

eMail: benno.bjarsch@t-online.de

Telefon: 030 6514898

Homepage: www.b-bjarsch.de